بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده فنی و مهندسی
بخش مواد و متالورژی

پایان نامه تحصیلی برای دریافت درجه کارشناسی ارشد رشته مهندسی مواد و متالورژی گرایش خوردگی و حفاظت از مواد

بهبود عملکرد و طول عمر قالب شمش‌ریزی تکباری از طریق بررسی اکسیداسیون در دمای بالا

مؤلف:
مهدی نورسته

استاد راهنما:
دکتر عبدالحمید جعفری

استاد مشاور:
مهندس فاطمه بقایی

شهریور ماه ۹۱

این پایان نامه به عنوان یکی از شرایط درجه کارشناسی ارشد به

بخش مواد و متالورژی

دانشکده فنی و مهندسی

دانشگاه شهید باهنر کرمان

تسلیم شده است و هیچگونه مدرکی به عنوان فراغت از تحصیل دوره مزبور شناخته نمی شود.

دانشجو: مهدی نورسته

استاد راهنما: دکتر عبدالحمید جعفری

استاد مشاور: مهندس فاطمه بقایی

داور ۱: دکتر امیر صرافی

داور۲: دکتر غلامرضا خیاطی

نمایند تحصیلات تکمیلی در جلسه دفاع: مهندس سهیل سروشیان

معاونت پژوهشی و تحصیلات تکمیلی دانشکده: دکتر مریم احتشام زاده

حق چاپ محفوظ و مخصوص به دانشگاه شهید باهنر کرمان است.

تقدیم به:

خانواده عزیزم که همواره در تمامی مراحل زندگی پشتیبان و حامی من بوده اند

همسر مهربان و دختر نازنینم

و

مادر عزیزم

که هرگز نخواهم توانست محبت‌هایشان را جبران نمایم

تشکر و قدردانی:

سپاس بیکران خداوند متعال را که بر بندگان ناچیزش ایمان و علم را ارزانی داشت تا علم را چراغ راه قرار داده و در سایه ایمان عبودیت را به کمال رسانند. در انجام این پژوهش بزرگوارانی بنده را یاری نموده‌اند که بر خود واجب می‌دانم که از ایشان قدردانی نموده و خالصانه‌ترین سپاس‌ها را نثارشان نمایم. در ابتدا از **همسر و دخترم** به پاس محبت‌های بی‌دریغشان که هردم فزونی می‌یابد، تشکر می‌کنم. از زحمات و راهنمایی‌های استاد گرانقدر جناب آقای **دکتر عبدالحمید جعفری** که همواره راهنما و مشوق من بوده‌اند، کمال تشکر را دارم.

از همکاری **اساتید محترم بخش مواد و متالورژی** دانشگاه شهید باهنر کرمان که افتخار شاگردی ایشان را داشته‌ام، سپاسگزارم و برای ایشان آرزوی سلامت و سعادت دارم. از سرکار خانم **مهندس فاطمه بقایی** و سرکار خانم **مهندس اطهره دادگری نژاد** که زحمات آزمایش SEM اینجانب بر عهده آنان بود و نیز تمام عزیزان زحمت‌کش این بخش، بدینوسیله قدردانی می‌نمایم.

همچنین برخود لازم می‌دانم قدردانی مخصوص از همکاران و کارشناسان صنعتی شرکت فولاد آلیاژی ایران **جناب مهندس عابدی** کارشناس آزمایشگاه، **جناب مهندس وحیدی‌فر** کارشناس تحقیق و توسعه، **جناب مهندس آیت اللهی** سرپرست ریخته‌گری تکباری، **جناب آقای اکبری سامانی** شیفت‌فرمن ریخته‌گری تکباری که در طول مدت این پروژه، خالصانه و صمیمانه مرا یاری نموده‌اند سپاسگذارم و توفیق روزافزون را از خداوند متعال خواستارم. همچنین از زحمات و لطف بی دریغ **جناب مهندس علیقلیان** مسؤول ریخته گری قالب در شرکت چدن سازان اصفهان کمال تشکر را دارم.

مهدی نورسته

شهریور ۹۱

چکیده

این پژوهش به درخواست شرکت فولاد آلیاژی ایران جهت بهبود طول عمر قالب‌های دائمی مورد استفاد در ریخته‌گری شمش فولاد انجام شد.

در این شرکت، از ابتدا تا حدود پنج سال پیش، از قالب‌های چدن خاکستری ساخت دانیلی استفاده می‌شد. اما در حال حاضر به دلیل اسقاط شدن و طول عمر کم آنها، حدود ۹۰ ذوب، از قالب‌های چدن داکتیل ساخت داخل با طول عمر ۱۲۰ ذوب، استفاده می‌شود. لذا هدف از این پژوهش، یافتن عوامل مؤثر بر کاهش طول عمر قالب ریخته‌گری از جنبه خوردگی و ارائه راهکار برای بهبود طول عمر آنها می‌باشد. با توجه به مشاهدات میدانی و بررسی چشمی مشخص شد عمده دلیل اسقاط شدن قالب، ایجاد ترک‌های ریز و شبکه‌ای بهم پیوسته (Crazing) و کندگی روی سطح داخلی قالب می‌باشد که، موجب افت کیفیت سطحی شمش ریخته شده و بلااستفاده شدن قالب می‌گردد. با توجه به تحقیقات انجام شده در موارد مشابه، آزمایشات متالوگرافی و SEM قالب‌های معیوب موجود، اکسیداسیون در دمای بالا و تنش حرارتی، دو فاکتور مهم معرفی شدند. در نهایت به منظور افزایش پایداری پرلیت، استحکام زمینه و مقاومت به اکسیداسیون در دمای بالا، عناصر آلیاژی مانند کرم، مولیبدن، نیکل در حدود ۰/۴ درصد و مس در حد ۰/۳ درصد به چدن خاکستری و داکتیل افزوده شد که نتایج آزمایشات کشش و اکسیداسیون در دمای بالا حاکی از آن است که حضور این عناصر منجر به افزایش چشمگیر استحکام کششی و مقاومت به اکسیداسیون در دمای بالا شده است.

کلید واژه: اکسیداسیون در دمای بالا، قالب چدنی، طول عمر، ریخته‌گری تکباری

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه

۱-۱- قالب‌های دائمی چدنی ۲

۱-۲- آشنایی مختصر با انوع چدن ۳

۱-۳- نوع چدن رایج قالب‌های دائمی ۴

۱-۳-۱- چدن خاکستری ۴

۱-۳-۱- چدن داکتیل ۸

۱-۴- ریخته‌گری تکباری ۹

۱-۵- انواع شمش‌ریزی و اجزای آن ۱۱

۱-۶- آماده سازی قالب جهت ذوب‌ریزی ۱۳

۱-۷- فرآیند شمش‌ریزی ۱۸

۱-۸- اثر قالب بر شمش ۱۸

۱-۸-۱- عیب حفرات گازی ۱۸

۱-۸-۲- عیب ترک‌های عرضی ۱۹

۱-۸-۳- عیب زخمک ۲۰

۱-۸-۴- عیب بالک ۲۰

۱-۸-۵- عیب پوست سوسماری ۲۱

فصل دوم: مروری بر منابع

۲ – ۱- اثر خوردگی بر عمر قالب ۲۳

۲ – ۱ – ۱ - اثرات دمای بالا و تغییرات آن بر خوردگی قالب ۲۳
۲ – ۱ – ۱ – ۱- رشد ۲۵
۲ – ۱ – ۱ – ۲ – پوسته شدن ۲۸
۲ – ۱ – ۱ – ۳ – شیب حرارتی و نوسانات دما ۳۲
۲ – ۱ – ۲ – اثر ریزساختار بر خوردگی ۴۰
۲ – ۱ – ۳ – اثر ترکیب شیمیایی ۴۸
۲ – ۱ – ۴ – خوردگی ناشی از نمک مذاب ۶۰
۲ – ۲- شکست نگاری ۶۲
۲ – ۳ – پودر قالب ۶۳
۲- ۴- اثر نحوه استفاده صحیح از قالب ۶۵

فصل سوم: مواد و روش تحقیق

۳ – ۱ – بررسی قالب‌های ریخته‌گری معیوب موجود ۷۰
۳ – ۱ – ۱ – آنالیز شیمیایی ۷۱
۳ – ۱ – ۲ – متالوگرافی ۷۱
۳ – ۱ – ۳ – آزمایش میکروسکوپ الکترونی روبشی ۷۲
۳ – ۱ – ۴ - شیب حرارتی دیواره قالب ۷۲
۳ – ۲ – ساخت و بررسی نمونه جدید ۷۳
۳ – ۲ – ۱ – تهیه نمونه آزمایش‌ها از بلوک‌ها ۷۴

۳ – ۲ – ۲ – ترکیب شیمیایی بلوک ۷۵
۳ – ۲ – ۳ – متالوگرافی بلوک‌ها ۷۵
۳ – ۲ – ۴ – آزمایش کشش مکانیکی بلوک‌ها ۷۶
۳ – ۲ – ۵ – تست مقاومت به ضربه بلوک‌ها ۷۷
۳ – ۲ – ۶- انجام تست اکسیداسیون به روش کاهش وزن ۷۷
۳ – ۳ – بررسی و آزمایش پودر قالب و لایه اکسیدی ۷۸

فصل چهارم: نتایج

۴ – ۱ – آنالیز شیمیایی ۸۰
۴ -۲- متالوگرافی ۸۰
۴ – ۳ – آزمایش میکروسکوپ الکترونی روبشی ۸۶
۴ – ۴ – شیب حرارتی دیواره قالب ۸۹
۴ – ۵ – آزمایش کشش ۹۰
۴ – ۶ – تست مقاومت به ضربه ۹۲
۴ – ۷ – تست اکسیداسیون و کاهش وزن ۹۳
۴ – ۸ – پودر قالب و لایه اکسیدی ۹۴

فصل پنجم: بحث ۹۶

فصل ششم: نتیجه گیری ۱۰۱

مراجع ۱۰۲

فهرست شکل‌ها

شکل ۱-۱: دیاگرام آهن-کربن در ۲/۵٪ سیلیسم ۵

شکل ۱-۲: محدوده‌ی تقریبی میزان درصد کربن و سیلیسم در فولاد و چدن ۶

شکل ۱-۳: انواع محتمل توزیع گرافیت در زمینه چدن خاکستری در بزرگنمایی ۱۰۰ برابر ۸

شکل ۱-۴: شماتیک فرآیند از تولید ذوب تا ریخته گری تکباری ۱۰

شکل ۱-۵: شماتیک نحوه ورود مذاب به قالب به صورت الف)Down hill teeming و ب) Up hill teeming ۱۱

شکل ۱-۶: نحوه چیدمان قالب بر روی صفحه اصلی a) قالب یک تنی، b) قالب دو تنی ۱۲

شکل ۱-۷: نمایی از صفحه اصلی و کانال‌های پای راهگاه الف) شماتیک، ب) بعد از آجر چینی ۱۲

شکل ۱-۸: شماتیک قالب دو تنی ۱۳

شکل ۱-۹: نمونه‌ای از آجرهای نسوز الف)پای راهگاه، ب) انتهای شیپوری (خورشیدی) ۱۴

شکل ۱-۱۰: چیدمان آجرهای نسوز، الف) پوشیده شده با ماسه نسوز، ب) خشک کردن ملات ۱۴

شکل ۱-۱۱: نحوه قراردادن قالب روی صفحه اصلی با کمک جرثقیل سقفی ۱۴

شکل ۱-۱۲: نمونه ای از Hot top و محل قرارگیری آن در قالب ۱۵

شکل ۱-۱۳: نحوه عملکرد Hot top ۱۵

شکل ۱-۱۴: نمایی از کیسه حاوی پودر ریخته‌گری و نحوه قرار گرفتن آن درون قالب ۱۶

شکل ۱-۱۵: شماتیک انتقال پودر مایع به بین مذاب فولاد و دیواره قالب به ترتیب a تا c ۱۷

شکل ۱-۱۶: شبیه سازی فرآیند انجماد در قالب ۱۷

شکل ۱-۱۷: نمایی از حفره سطحی روی شمش ۱۹

شکل ۱-۱۸: نمایی از ترک عرضی بر روی شمش ۱۹

شکل ۱-۱۹: نمایی از وجود زخمک بر روی شمش ۲۰

شکل ۱-۲۰: نمایی از وجود عیب بالک بر روی شمش ۲۰

شکل ۱- ۲۱: نمایی از عیب پوست سوسماری روی شمش ۲۱

شکل ۱-۲۲: عیوب رایج بر روی دیواره داخلی قالب، الف) شبکه‌های بهم پیوسته ترک، ب) کندگی موضعی ۲۱

شکل ۲-۱: نمایی از وجود پرلیت‌های کروی در زمینه ساختار دیواره قالب شمش‌ریزی استفاده شده ۲۴

شکل ۲-۲: دمای دیواره قالب بزرگ (۱) و قالب متوسط (۲) در فاصله ۲۰ میلیمتری (a) و ۵ میلیمتری (b) از سطح داخل ۲۴

شکل ۲-۳: اکسیداسیون چدن با گرافیت لایه‌ای، a) نمای لایه زیرین با بزرگنمایی ۱۰۰x، b) شماتیک فرآیند اکسیداسیون و نحوه نفوذ اکسیژن و پیشرفت اکسیداسیون به سمت داخل در کنار لایه گرافیت ۲۶

شکل ۲-۴: اثر میزان و توزیع گرافیت بر رشد در هوا در دمای ۵۰۰ درجه سانتیگراد ۲۷

شکل ۲-۵: چدن با گرافیت کروی که در دمای ۷۰۰ درجه سانتیگراد به مدت ۵۰ ساعت با هوا اکسید شده است: a) الگوی XRD، b) نمای بالای SEM، c) آنالیز خطی EPMA در طول خط A-B ۲۸

شکل ۲-۶: اثر میزان و توزیع گرافیت بر پوسته دار شدن در هوا در دمای ۵۰۰ درجه سانتیگراد ۲۹

شکل ۲-۷: سنتیک اکسیداسیون در دمای ۴۰۰ تا ۷۵۰ درجه سانتیگراد، a) چدن با گرافیت لایه‌ای، b) چدن با گرافیت کروی ۳۰

شکل ۲-۸: وابستگی نرخ پوسته‌دار شدن به دما. منحنی a: چدن با گرافیت لایه ایی، منحنی b: چدن با گرافیت کروی[۹] ۳۱

شکل ۲-۹: نرخ پوسته شدن چدن در گازهای خالص($Fe\text{-}3.20C_{total}\text{-}1.13Si\text{-}0.125S\text{-}0.58P$) ۳۱

شکل ۲-۱۰ : نقاط اندازه‌گیری شده دمای سطح قالب ۳۴

شکل ۲-۱۱ : دیاگرام توزیع دما اطراف قسمت بالای قالب در زمان‌های مختلف بعد از ذوب‌ریزی: ۳۵ دقیقه(۱)، ۶۰ دقیقه(۲)، ۱۲۰ دقیقه(۳)، ۱۸۰ دقیقه(۴) ۳۴

شکل ۲-۱۲: تغییر اندازه سطح قالب حین سرد شدن ۳۵

شکل ۲-۱۳: نموار تنش – چرخه خستگی چدن نشکن در دوحالت ساچمه زنی شده و ساچمه زنی نشده ۳۷

شکل ۲-۱۴: تصویر میکروسکوپ الکترونی از سطح شکست نهایی که نشان دهنده شکست نرم است ۳۸

شکل ۲-۱۵: اثر شکل گرافیت بر میزان عمق دکربوره شدن قالب ۴۱

شکل ۲-۱۶: اثر شکل گرافیت بر میزان عمق ترک قالب ۴۱

شکل ۲-۱۷: نمایی از عیوب حاصله در قالب الف)چدن خاکستری، ب) چدن داکتیل ۴۲

شکل ۲-۱۸: شماتیک نوع و توزیع گرافیت، فرم I نوع B طبق استاندارد ۴۲

شکل ۲-۱۹: شماتیک اندازه تقریبی گرافیت، میزان سه در بزرگنمایی ۱۰۰ ۴۲

شکل ۲-۲۰: نفوذ لایه اکسید به داخل چدن خاکستری دقیقاً زیر سطح تماس با مذاب ۴۳

شکل ۲-۲۱: حمله به لایه های گرافیت در طول مرزدانه ۴۳

شکل ۲-۲۲: نمودار طیف نشری انرژی فاز اکسید ۴۳

شکل ۲-۲۳: نمایش ترتیب تغییر شکل گرافیت از فرم I به فرم VI ۴۴

شکل ۲-۲۴: نفوذ لایه اکسید به داخل چدن کروی دقیقاً زیر سطح تماس با مذاب ۴۴

شکل ۲-۲۵: هدایت حرارتی در دماهای مختلف برای برخی چدن‌ها ۴۵

شکل ۲-۲۶: نمودار خستگی اسمیت-واتسون-تاپر برای انواع چدن، منحنی یک چدن خاکستری، منحنی دو چدن فشرده، منحنی سه چدن کروی فریتی، منحنی چهار چدن کروی پرلیتی و منحنی پنج چدن کروی بینیتی ۴۶

شکل ۲-۲۷: نمودار خستگی اسمیت-واتسون-تاپر برای فولاد پرلیتی و انواع چدن پرلیتی، منحنی یک فولاد، منحنی دو چدن کروی، منحنی سه چدن فشرده و منحنی چهار چدن خاکستری ۴۷

شکل ۲-۲۸: رابطه بین استحکام تسلیم(الف) و کششی(ب) با مقدار پرلیت در میزان کرویت‌های مختلف گرافیت ۴۷

شکل ۲-۲۹: نمودار نسبت مقاومت به سایش RWR و اکسیداسیون ROR در دمای محیط و ۴۰۰ درجه سانتیگراد ۴۸

شکل ۲-۳۰: اثر تغییر میزان کربن بر استحکام و انعطاف پذیری ۴۹

شکل ۲-۳۱: اثر تغییر میزان سیلیسم بر استحکام و انعطاف پذیری ۴۹

شکل ۲-۳۲: محدوده رایج کربن – سیلیسم برای چدن داکتیل ۵۰

شکل ۲-۳۳ : اثر تغییر میزان فسفر بر استحکام و انعطاف‌پذیری ۵۳

شکل ۲-۳۴ : اثرتغییر میزان کربن و سیلیسم در تعادل با فسفر بر استحکام و انعطاف‌پذیری ۵۳

شکل ۲-۳۵ : اثر تغییر میزان منیزیم بر استحکام و انعطاف‌پذیری ۵۴

شکل ۲-۳۶: اثر عناصر آلیاژی بر خواص چدن خاکستری ۵۶

شکل ۲-۳۷ : گرافیت در چدن خاکستری (۲۵x): a) بدون آلومینیوم، b) ۰/۱۲٪ آلومینیوم، c) ۰/۸۷٪ آلومینیوم ۵۷

شکل ۲-۳۸: ریزساختار چدن خاکستری بعد از سیکل حرارتی (حرارت دادن تا ۸۵۰ درجه سانتیگراد و خنک کردن)(۲۰۰x)، a) قبل از سیکل حرارتی، h،g،f،e،d،c،b) به ترتیب، بعد از ۱، ۵، ۱۵، ۳۰، ۸۵ و ۱۰۰ سیکل ۵۸

شکل ۲-۳۹: تغییر طول نسبی نمونه‌ها با سیکل حرارتی ۸۵۰ درجه سانتیگراد، a) بدون آلومینیم، b) ۰/۱۲٪ آلومینیم، c) ۰/۸۷٪ آلومینیم ۵۹

شکل ۲-۴۰: اختلاف پتانسیل V بین الکترود احیاءکننده و الکترود نیکل در مذاب کلرور قلیایی ۶۱

شکل ۲-۴۱: شکست نگاری چدن با گرافیت ورقه‌ای ۶۳

شکل ۲-۴۲: شکست نگاری چدن با گرافیت فشرده ۶۳

شکل ۲-۴۳: شکست نگاری چدن با گرافیت کروی ۶۳

شکل ۲-۴۴: شیب حرارتی دیواره قالب چدنی، Stage 1) شروع ذوب‌ریزی، Stage 2) ۵ تا ۱۵ دقیقه بعد از ذوب‌ریزی، Stage 3) هنگام تخلیه شمش از قالب و Stage 4) بعد از تخلیه شمش ۶۸

شکل ۳-۱: محل تهیه نمونه از قالب، الف)محل برش روی بدنه قالب، ب)بلوک اولیه برش داده شده از بدنه قالب توسط هوا برش ۷۱

شکل ۳-۲: نمای محل بررسی ترک نمونه قالب یک تنی (ساخت دانیلی) ۷۲

شکل ۳-۳: موقعیت سوراخ‌ها بر روی سطح بیرونی قالب و نمایی از ترموکوپل ۷۳

شکل ۳-۴: شماتیک بلوک‌های آزمایشی ریخته‌گری شده و محل تهیه نمونه ۷۴

شکل ۳-۵: سیکل تنش‌زدایی اعمال شده بر روی بلوک‌ها به پیشنهاد شرکت سازنده ۷۵

شکل ۳-۶: نمونه آماده‌سازی شده جهت تست کشش طبق استاندارد ASTM A370. الف) شماتیک و مشخصات ابعادی نمونه‌ها، ب) نمونه کشش دمای محیط، ب) نمونه کشش دمای بالا ۷۶

شکل ۳-۷: نمونه تست ضربه شارپی طبق استاندارد DIN 1045 الف) شماتیک نمونه و ابعاد و مشخصات آن، ب) نمونه واقعی مورد استفاده ۷۷

شکل ۳-۸: نمونه تست اکسیداسیون در دمای بالا ۷۸

شکل ۴-۱: میزان کرویت، اندازه و شکل گرافیت قالب دو تنی ایرانی، در بزرگنمایی ۱۰۰برابر، اچ نشده ۸۱

شکل ۴-۲: تصویر متالوگرافی از دیواره قالب دو تنی ایرانی اچ شده با نایتال، الف) منطقه سطح تماس با مذاب بزرگنمایی ۱۰۰ برابر، ب) نیم میلیمتر زیر سطح تماس با مذاب، بزرگنمایی ۵۰۰ برابر، ج) منطقه نزدیک به سطح دیواره بیرونی، بزرگنمایی ۱۰۰ برابر، د) لبه قالب، بزرگنمایی ۱۰۰ برابر ۸۱

شکل ۴-۳: مقیاسی از میزان عمق ترک‌های موجود درسطح دیواره داخلی قالب دو تنی ایرانی ۸۲

شکل ۴-۴: نمایی از اشاعه ترک در سطح دیواره داخلی قالب دو تنی ایرانی، ۲۵x ۸۲

شکل ۴-۵: لایه اکسید در سطح داخلی ترک و احاطه کردن گرافیت، ریزساختار فریت و پرلیت، ۱۰۰x ۸۲

شکل ۴-۶: پرلیت کروی شده به همراه فریت اطراف کره گرافیت قالب ایرانی ۱۰۰۰x ۸۲

شکل ۴-۷: لایه اکسید در سطح تماس با مذاب قالب ایتالیایی، نمونه اچ نشده ۱۰۰x ۸۳

شکل ۴-۸ : وجود فاز اکسید بین گرافیت و زمینه در قالب ایتالیایی، ۱۰۰x ۸۳

شکل ۴-۹: پرلیت تجزیه شده به فریت و سمنتیت کروی قالب ایتالیایی، ۱۰۰۰x ۸۳

شکل ۴-۱۰:ریزساختار بلوک A، چدن با گرافیت فشرده، اچ شده ۱۰۰x ۸۴

شکل ۴-۱۱: حضور پرلیت در اطراف لایه‌های گرافیت بلوک A، اچ شده ۵۰۰x ۸۴

شکل ۴-۱۲: ریزساختار بلوک B چدن داکتیل حاوی گرافیت کروی ناقص، اچ شده، ۱۰۰x ۸۴

شکل ۴-۱۳: لایه‌های بسیار فشرده پرلیت در زمینه بلوک B، اچ شده، ۱۰۰۰x ۸۴

شکل ۴-۱۴: حضور گرافیت چانکی و گرافیت کروی در زمینه بلوک C، ۵۰x ۸۵

شکل ۴-۱۵: لایه های پرلیت در برگیرنده اطراف کره‌های گرافیت در بلوک C، ۱۰۰۰x ۸۵

شکل ۴-۱۶: گرافیت لایه‌ای شکل در بلوک D با زمینه پرلیتی، اچ شده، ۱۰۰x ۸۵

شکل ۴-۱۷: لایه‌های فشرده پرلیت در زمینه بلوک D، اچ شده، ۱۰۰۰x ۸۵

شکل ۴-۱۸: ریزساختار بلوک E حاوی گرافیت کروی و زمینه پرلیت فریتی، اچ شده، ۱۰۰x ۸۵

شکل ۴-۱۹: لایه‌های پرلیت و فاز فریت اطراف گرافیت، ۵۰۰x ۸۵

شکل ۴-۲۰: ترک راه یافته به زیر سطح نمونه قالب یک تنی ایتالیایی ۸۶

شکل ۴-۲۱: نمای ترک به سمت انتهای ترک، الف) انتهای ترک، ب)ریزترک در حال رشد در انتهای ترک اصلی با بزرگنمایی ۳۰۰۰x ج)رشد ترک در مرزدانه بزرگنمایی ۳۰۰۰x ۸۷

شکل ۴-۲۲: نمودار طیف نشری انرژی فاز اکسید دیواره داخلی ترک در قالب یک تنی ایتالیایی ۸۷

شکل ۴-۲۳: امتداد شیار حاصل از اشاعه ترک از سطح در قالب دو تنی ایرانی، بزرگنمایی ۵۰۰ ۸۸

شکل ۴-۲۴: عبور شیار از کنار کره گرافیت و تخریب آن، بزرگنمایی ۵۱۰x ۸۸

شکل ۴-۲۵: برخورد انتهای شیار ترک اشاعه یافته از سطح، به کره گرافیت، ۲۵۰x ۸۸

شکل ۴-۲۶: نمای ادامه مسیر ریزترک انتهای ترک اشاعه یافته از سطح و تغییر جهت آن ۸۸

شکل: ۴-۲۷: دگرگونی اطراف کره گرافیت در انتهای ترک ۸۵

شکل ۴-۲۸: وجود ریزترک‌ها در اطراف کره گرافیت در زمینه فریتی ۸۹

شکل ۴-۲۹: شیب حرارتی در دیواره قالب. به ترتیب دمای T1 در ۸۵، T2در ۷۰ و T3 در ۱۰ میلیمتری از سطح بیرونی قالب با ضخامت دیواره ۹۰ میلیمتر ۹۰

شکل ۴-۳۰: میزان کاهش وزن نمونه‌های تهیه شده از بلوک‌های آزمایشی ۹۲

شکل۵-۱: تغییرات استحکام کششی بلوک‌های آزمایشی با افزایش دما ۹۷

فهرست جداول

جدول ۱-۱: ترکیب گستره ترکیب شیمیایی متداول انواع چدن ۳

جدول ۱-۲: نمونه ای از دسته بندی چدن خاکستری ۵

جدول ۱-۳: نمونه ای از استحکام کششی چدن‌های خاکستری ۸

جدول ۱-۴: ترکیب شیمیایی فولادهای ریخته گری شده به روش تکباری ۱۰

جدول ۱-۵: مشخصات ابعادی قالب دو تن ۱۳

جدول ۱-۶: ترکیب شیمیایی و محدوده دمایی پودر ریخته گری فولاد کربن متوسط ۱۶

جدول ۲-۱: مجموعه نتایج استحکام خستگی در $۱۰^{۷}$ چرخه برای چدن نشکن ۳۸

جدول ۲-۲ : ترکیب شیمیایی پیشنهادی برای چدن ۴۰

جدول۲-۳: اندازه دانه های فریت و کروی در چدن داکتیل در عمق های مختلف ۴۴

جدول ۲-۴: هدایت حرارتی برای برخی اجزاء ساختاری چدن ۴۵

جدول ۲-۵: ترکیب شیمیایی پنج آلیاژ مختلف ریخته شده ۴۸

جدول ۲-۶ : ترکیب شیمیایی قالب‌های ریخته شده ۴۹

جدول ۲-۷: مشخصات فنی پودر ریخته گری پیشنهادی دانیلی و راجا ۶۵

جدول ۳-۱: ترکیب شیمیایی و ریزساختار قالب دو تنی تولید شده در شرکت چدن سازان اصفهان طبق مدارک ۷۰

جدول۳-۲: خواص مکانیکی قالب دو تنی تولید شده در شرکت چدن سازان طبق مدارک ۷۰

جدول ۳-۳: ترکیب شیمیایی قالب یک تنی تولید شده توسط شرکت دانیلی طبق مدارک ۷۰

جدول۳-۴: خواص مکانیکی قالب یک تنی تولید شده توسط شرکت دانیلی طبق مدارک ۷۰

جدول ۳-۵: ترکیب شیمیایی دو قالب موجود به روش کوانتومتری و جذب اتمی ۷۱

جدول ۳-۶: ترکیب شیمیایی پیشنهادی جهت ریخته‌گری بلوک آزمایشی ۷۴

جدول ۴-۱: ترکیب شیمیایی دو قالب موجود به روش کوانتومتری و جذب اتمی ۸۰

جدول ۴-۲: ترکیب شیمایی بلوک‌های آزمایشی ریخته‌گری شده ۸۰

جدول ۴-۳: درصد تقریبی فاز پرلیت و نوع گرافیت نمونه‌های بررسی شده قالب و بلوک ۸۶

جدول ۴-۴: نتایج تست کشش در دماهای مختلف ۹۱

جدول ۴-۵: نتایج تست ضربه در دمای محیط ۹۲

جدول ۴-۶: میزان کاهش وزن بعد از نگه داری در دمای ۸۵۰ درجه سانتیگراد ۹۳

جدول ۴-۷: ضخامت لایه دکربوره و اکسیدی ۹۴

جدول ۴-۸: ترکیب شیمیایی پودر ریخته گری قبل و بعد از ذوب‌ریزی و پوسته اکسیدی ۹۴

جدول ۵-۱: مشخصات مکانیکی و متالورژیکی بلوک‌های آزمایشی ریخته‌گری شده ۹۷

جدول ۵-۲: ثابت تابع سهمی برای اکسیداسیون بلوک A تا E در دمای ۸۵۰ درجه سانتیگراد ۹۹

فصل اول

مقدمه

۱–۱– قالب های دائمی چدنی

آنچه امروزه در تعیین عمر قالب‌های دائمی مطرح است، جنس و ریزساختار آنها می‌باشد که در مقاومت به اکسیداسیون در دمای بالا و تحمل تنش داخلی حاصل از سیکل‌های حرارتی و تغییر ابعاد ناشی از انقباض و انبساط متناوب اثر مستقیم دارد. لذا با توجه به خواص چدن، استفاده از آن در ساخت قالب منطقی است و قالب‌ها اکثراً چدنی می‌باشند. چدن‌ها گروهی از آلیاژهای آهنی با خواص گوناگون و متنوع هستند و به جای اینکه در حالت جامد روی آنها کار انجام گیرد در حالت مذاب به شکل دلخواه ریخته‌گری می‌شوند. بر عکس فولادها که کمتر از ۲٪ کربن دارند، چدن‌ها معمولاً ۲ تا ۴٪ کربن و تا ۳٪ سیلیسیم داشته و سایر عناصر فلزی و غیر فلزی نیز برای کنترل و تغییر ویژگی‌های خواص اضافه می‌شوند. علاوه بر ترکیب شیمیایی عوامل مهم دیگری از قبیل نوع فرآیند انجماد، سرعت سرد شدن و عملیات گرمایی بعدی بر خواص آنها تأثیر می‌گذارد. آلیاژهای چدنی ریختگی دارای گستره وسیعی از استحکام و سختی و در بعضی موارد خواص ماشینکاری خوبی می‌باشند. برای ایجاد مقاومت به سایش، خراش و خوردگی مطلوب به آنها عناصر آلیاژی اضافه می‌شود. در ادامه، علاوه بر آشنایی مختصر با انواع چدن مورد استفاده در ساخت قالب ریخته‌گری تکباری و اثر عناصر آلیاژی در بهبود خواص خوردگی و مکانیکی آنها، اثر عواملی دیگر مانند پودر ریخته‌گری، خستگی حرارتی و دیگر عوامل موثر بر عمر قالب آورده شده است.

در شرکت فولاد آلیاژی ایران با توجه به اینکه تجهیزات را شرکت ایتالیایی دانیلی تأمین کرده است، از ابتدا تا حدود ۵ سال پیش، از قالب‌های چدنی دانیلی استفاده می‌شد. اما در حال حاضر به دلیل اسقاط شدن و طول عمر کم آنها، حدود ۹۰ ذوب، از قالب‌های ساخت داخل با طول عمر ۱۲۰ ذوب، استفاده می‌شود. لذا هدف از این پژوهش و بررسی دو نوع قالب موجود در شرکت، یافتن عوامل مؤثر بر کاهش طول عمر قالب چدنی ریخته‌گری تکباری از جنبه خوردگی و ارائه راهکار برای بهبود طول عمر آنها می‌باشد. جنس قالب دانیلی از چدن خاکستری و جنس قالب ایرانی از چدن داکتیل می‌باشد. عمده دلیل اسقاط شدن قالب، کندگی، برآمدگی، ایجاد ترک گرم و ترک‌های شبکه‌ای بهم پیوسته (Crazing) روی سطح داخلی قالب می‌باشد که موجب افت کیفیت سطحی شمش ریخته شده و بلااستفاده شدن قالب می‌گردد. با توجه به یافته‌های حاصل از تحقیقات انجام شده در موارد مشابه، دو عامل اکسیداسیون در دمای بالا و تنش حرارتی، دو فاکتور مهم معرفی شدند و بیشتر تلاش ما نیز بر روی این دو عامل می‌باشد.